

디젤 차량의 보조 난방을 위한 PTC 히터 개발

신유희¹, 김성철^{1*}

¹자동차부품연구원 그린카파워시스템연구본부

Development of a PTC Heater for Supplementary Heating in a Diesel Vehicle

Yoon Hyuk Shin¹ and Sung Chul Kim^{1*}

¹Green Car Power System R&D Division, Korea Automotive Technology Institute

요 약 최근 디젤 차량과 같은 내연기관의 고효율화에 따라, 보조난방 열원으로서 PTC 히터의 사용이 증가하는 추세이다. 디젤 차량의 시동 초기에는 냉각수의 온도가 난방으로 직접 사용하기에 충분히 높지 않으므로, 동절기 난방을 위해 보조난방 열원은 필수적이다. 본 연구에서는 스크린 인쇄 전극공정을 바탕으로 한 PTC 소자를 제작하였고, 이를 활용한 PTC 소자 모듈 및 히터를 설계 및 제작하였다. PTC 소자 모듈의 방열핀 접촉형상 및 전열소자의 크기 변경에 따른 난방성능 변화를 열유동 해석을 통해 분석하였고, 난방성능 실험을 수행하여 PTC 히터의 난방성능 및 효율 특성을 살펴보았다. PTC 히터 시작품의 경우, 기존 PTC 히터와 동등한 수준 이상의 난방성능 및 효율을 나타내었으며, 향후 이를 바탕으로 PTC 소자와 히터에 대한 공정개선 및 성능증대 연구를 수행할 계획이다.

Abstract Using positive temperature coefficient (PTC) heater as supplementary heating for diesel engine vehicles with low heat source is a good method to enhance the heating performance during cold start. In this study, the PTC elements were made by using screen printing process for forming ohmic contact layer, and prototype of PTC heater was designed and made for a diesel engine vehicle. In process of designing the PTC heater, the thermal flow analysis of PTC element modules was conducted for verifying the effect of the shapes of contact surface between each of the components (cooling fin, insulator, ceramic element). We also investigated the performance characteristic (heating capacity, energy efficiency, pressure drop) of the PTC heater through the experiments. Therefore, the experimental results indicated that prototype of PTC heater had satisfactory performance. This study will be basis for improving the manufacturing process and increasing the performance of the PTC element and heater.

Key Words : Diesel engine, Heating capacity, Positive Temperature Coefficient (PTC), Screen printing, Supplementary heating

기호설명

c_p : 공기 비열 (J/kg·K)

I : 전류 (Input current)

\dot{m} : 공기 유량 (kg/h)

PTC : 발열소자

(Positive Temperature Coefficient)

V : 인가 전압 (Input voltage)

η : 효율 (Energy efficiency)

하첨자

i : 입구 (in)

o : 출구 (out)

*Corresponding Author : Sung Chul Kim(Korea Automotive Technology Institute)

Tel: +82-41-559-3093 email: sckim@katech.re.kr

Received October 14, 2013

Revised (1st November 11, 2013, 2nd November 12, 2013)

Accepted February 5, 2014

1. 서론

전 세계적으로 에너지 문제와 더불어 환경오염에 의한 이상기후 현상이 발생되면서 환경규제 강화 및 친환경 제품에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 각국의 자동차 업체들은 고연비 및 저탄소 배출이 가능한 클린디젤 및 하이브리드 자동차 등 친환경 차량 개발에 전력을 다하고 있다. 또한, 최근 디젤엔진 등의 내연기관인 경우와 엔진 다운사이징과 같은 한층 향상된 고연비 기술 개발에 따라 더욱 부족한 고열원을 보완하기 위해 효율적인 보조 난방장치의 적용이 보편화되고, 이에 따라 PTC 히터의 수요가 지속적으로 증가할 예정이다.

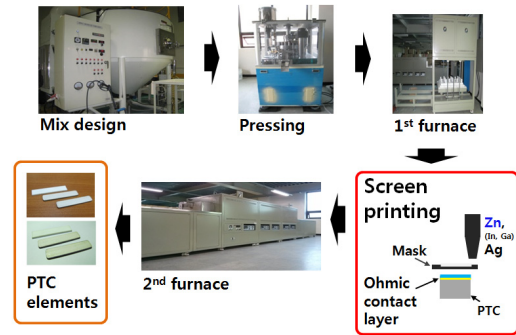
PTC (Positive Temperature Coefficient)는 특정온도에 도달하면 상전이에 의해 온도가 상승함에 따라 저항값이 급격히 증가하는 성질을 갖는 소자로서, 이러한 전기적 특성을 이용하여 차량에서의 효율적인 난방장치에 많이 사용된다. 이를 활용한 PTC 히터는 차량의 냉시동 시에 보다 빠른 시간에 난방을 가능하게 하는 보조장치로서 적합하다. 고효율 내연기관/그린카의 난방 고성능 및 속효성 문제를 해결함과 동시에, 나아가 능동적인 난방 시스템을 가능하게 하여 난방효율 향상에 기여할 수 있기 때문에 PTC 히터 개발 및 활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. PTC 히터를 적용한 난방 시스템의 성능을 실험적으로 평가하였으며, PTC 히터 효율을 향상시키기 위해 방열핀 등의 형상 개선 및 운전 최적 제어방법 개발에 힘쓰고 있다[5,6]. 또한, 일반적인 PTC 소자의 전극생성 공정인 스크린 인쇄 방식을 박막공정으로 개선하여 소자의 성능 및 내구성을 향상시키는 연구가 진행되고 있다[7].

본 연구에서는 디젤 차량의 주 난방열원인 히터코어와 함께 사용되는 보조 난방용 저전압 PTC 히터를 개발하고자 한다. 이를 위해, 우선 PTC 소자의 원료 가공 및 스크린 인쇄 공정 등을 사용하여 기본 성능을 확보하였다. 또한 PTC 소자 모듈의 최적 조합을 알아보기 위해 몇 가지의 열유동 해석을 수행하였다. 따라서, 설계 제작된 고효율 PTC 히터의 시작품 성능 평가를 통하여 차실 내의 난방성능 특성을 분석하였다.

2. PTC 소자 및 모듈

2.1 PTC 소자 공정

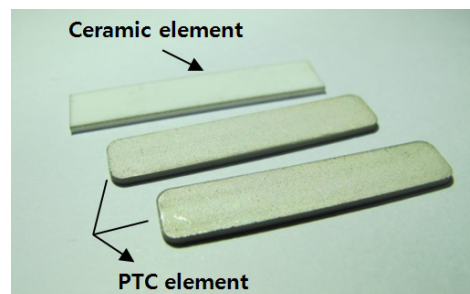
PTC 소자 공정은 Fig 1과 같이, 원료 혼합, 성형 및 소결, 전극생성 공정으로 나눌 수 있다. 특히, 반도체인



[Fig. 1] Manufacturing process of the PTC elements

PTC 소자 면에서의 전기적 접촉이 가능하게 하는 전극생성 공정은 전기적 및 물리적 내구성에 큰 영향을 미친다. PTC 소자의 전극생성은 스크린 인쇄 (Screen printing) 공정을 이용한다. 스크린 인쇄 공정은 금속마스크를 이용하여 소자의 양면에 페이스트 (Paste) 형태의 금속물질을 선택적으로 입히는 과정으로, 오믹접촉 (Ohmic contact)이 가능한 층을 생성하는 공정이다. 일반적으로, 인듐 (In), 갈륨 (Ga) 등이 함유된 액상의 1차 페이스트를 스크린 인쇄방식으로 소자 표면에 도포한 후, 알루미늄 (Al)이나 은 (Ag)이 함유된 2차 페이스트를 도포하여 약 600°C의 온도에서 최종적으로 소부공정을 수행한다. 소자의 전극물질로 적용된 액상 금속의 1차 페이스트 (paste)의 경우, 소자의 반복적인 발열 과정에서 점차 소자 물질 면을 통해 침투하여 성능 및 내구 저하를 발생시키기 때문에, 최근에는 이를 개선하기 위해 아연 (Zn)이 적용되고 있으며, 본 공정에도 반영하였다.

본 연구에서는 인쇄공정을 이용하여 Fig. 2와 같이, 저전압 히터용의 PTC 소자를 제작하였다. 디젤엔진 등의 내연기관 차량에 적용을 위해 Table 1과 같은 제원으로 설계 및 제작하였다. 이는 저전압 사양의 PTC 히터의 일반적인 요구 난방용량을 고려하여 PTC 소자 성능을 설정하였다.



[Fig. 2] A photo of the PTC elements

[Table 1] Specification of the PTC element

Spec.	
W × L × T (mm)	28.5
Weight (g)	0.89
Range of resistance (Ω)	2 ~ 3

2.2 PTC 모듈 해석

PTC 히터의 성능과 가장 밀접한 PTC 소자 모듈의 최적설계를 위해 Table 2와 같이, 열전달 해석모델을 구성하였다. 본 해석에서는 히터 구성품의 내부 열전달 성능 향상에 대한 비교를 위해 수행하였다. 각 해석모델 간의 상대평가이므로, 하나의 PTC 소자에 해당하는 절연층 (Insulator) 및 방열핀 (Fin)으로 최소화하여 구성하였다. Case 1 (Base) 모델과 비교하여 Case 2 모델의 경우, 방열핀 절곡 부분에서의 접촉 면적을 최대로 하였다. 또한, Case 3 모델의 경우에는 PTC 소자와 접하여 열전달 및 절연 역할을 하는 비전극 세라믹 소자의 크기를 허용범위 내에서 최대로 변경하였다. 열유동 해석을 위해, Table 3과 같은 각 부품별 재료의 물성치를 설정하였고, 각 모델 별로 PTC 소자 모듈의 일반적인 열전달 성능을 평가

[Table 2] Models of PTC element module

Models of element module	
Case 1	<p>Ceramic element Insulator PTC element Fin</p>
Case 2	
Case 3	

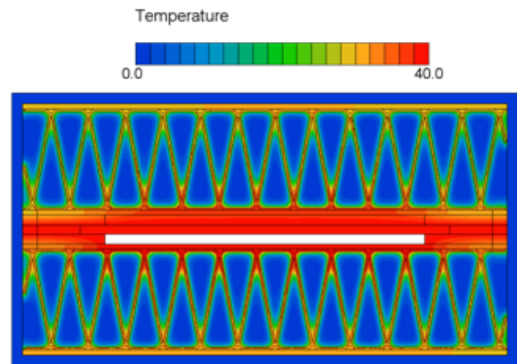
하는 경계조건을 Table 4에 나타내었다. PTC 소자의 발열조건은 히터 난방용량에서의 소자 각 1개의 적정 발열량을 적용하였다.

[Table 3] Material properties used in the analysis

Properties	Air	Al3003	PBT+GF30%
Density (kg/m ³)	1.225	2,729	1,970
Specific heat (J/kg·K)	1,010	892	1,730
Thermal conductivity (W/m·K)	0.024	193.3	0.2

[Table 4] Boundary conditions

Boundary conditions	
Inlet air velocity (m/s)	3.46
Inlet air temperature (°C)	0
Heat source of PTC element (W)	40



[Fig. 3] Results of temperature distribution at base model

Fig. 3에서는 Base 모델인 PTC 소자 모듈의 열분포 결과를 보여주고 있다. 각 모델의 열분포는 거의 동일하였고, Base 모델의 PTC 소자에서 방열핀까지 약 9°C 온도차의 열이 전달된 것이며, 열저항은 0.29 °C/W 이었다.

[Table 5] The comparison results of analysis models

Spec.	Analysis models		
	Case 1	Case 2	Case 3
Inlet air temperature (°C)	0	0	0
Outlet air temperature (°C)	12.02	12.25	12.11
Pressure drop (Pa)	12.02	12.03	11.96

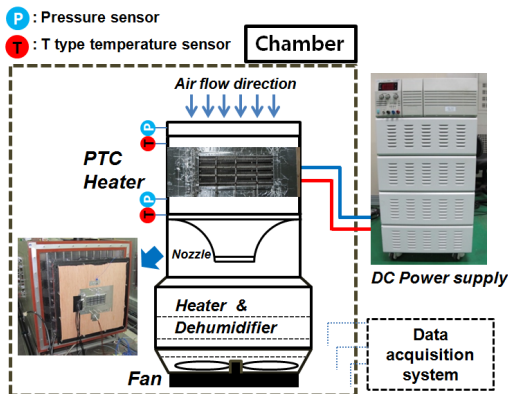
Table 5는 각 모델에서의 해석 비교결과를 나타내고 있다. Base 모델인 Case 1과 비교하여, Case 2 및 Case 3에서의 히터 방열부를 통과한 공기 온도변화의 차이는

각각 0.23°C, 0.09°C 정도로 크게 발생하지 않았다. 즉, PTC 소자 모듈 구성품 간의 열전달 면적 증가 (방열핀 접촉형상 및 전열소자의 크기 변경)는 공기 측의 방열 성능 향상에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 방열핀의 형상 개선이 PTC 히터의 난방성능 향상에 더욱 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 향후 개선연구 방향 (최소한의 압력강하 증가조건에서의 공기 측 열교환 면적 및 난류 효과 극대화 기술 적용)에 반영할 것이다.

3. PTC 히터 난방성능

3.1 실험장치 및 방법

PTC 히터의 난방용량, 효율 및 압력강하 등을 측정하기 위한 실험장치로서, Fig. 4와 같이 항온챔버 내 풍동장비를 구성하였다. 풍동장치의 공기 입출구 온도 측정은 ±0.1°C의 T타입 열전대를 사용하였고, 모든 온도 및 압력은 Gantner의 Data logger를 이용하여 수집하였다. 디젤 차량에 적용되고 있는 기존 제품과 더불어, PTC 소자 및 모듈을 포함하여 일련의 공정을 통해 설계·제작되어진 저전압 PTC 히터의 제원은 Table 6에 나타나 있다. A타입은 현 차량에 적용되어 사용되는 기존 PTC 히터이고, B타입이 본 연구를 통해 개발된 PTC 히터 시작품이다. A타입은 각각 2, 3, 4, 5개의 PTC 소자로 이루어진 4개의 히트로드 (Heat rod)로 구성되어 있고, 시작품인 B타입의 구조는 PTC 소자 4개가 동일하게 삽입되어 있는 히트로드 3개로 이루어져 있다. 시작품인 B타입의 방열핀은 일반적으로 쓰이는 형상으로, 본 연구에서 진행한 해석모델 (case 1)과 동일하다.



[Fig. 4] Schematic diagram of test facility for heating performance

[Table 6] Specifications of PTC heaters

Spec.	Type of PTC heater	
	A (conventional)	B (Prototype)
Shape of PTC heater		
Core size (m ²)	0.020	0.023
No. of PTC element (ea)	14	12

Table 7은 일반적으로 PTC 히터의 난방성능을 측정하는 실험조건이며, 차량의 HVAC 블로워 (Blower)에서 나오는 풍량과 동절기의 외기 온도조건을 구현한 것이다. 각 타입별 PTC 히터의 난방용량 및 소비전력을 측정하여 효율을 비교하였다. 더불어, PTC 히터의 차량 적용에 따른 블로워 소요동력의 예측을 위하여, PTC 히터를 통과하는 공기의 압력강하를 측정하였다.

[Table 7] Experimental conditions

Item		Percentage
Inlet air	Temperature (°C)	0
	Air flow rate (kg/h)	300
Input power	Voltage (V)	13.5

[Table 8] Experimental results

Performance parameters	Type of PTC heater	
	A (conventional)	B (prototype)
Input current (A)	74.24	81.2
Power consumption (kW)	1.002	1.096
Heating capacity (kW)	0.865	1.013
Pressure drop (kPa)	25.6	27.5
Energy efficiency	0.893	0.924

3.2 난방성능 결과

PTC 히터의 난방성능 평가를 통해 난방용량, 소비전력 및 공기측 압력강하를 각각 측정하였다. 이를 통해 기존 제품과 시작품인 PTC 히터의 효율을 서로 비교하였으며, 효율은 PTC 히터의 소비전력에 대한 난방용량의 비 (식 (1))에 의해 계산하였다.

$$\eta = \frac{c_p \times \dot{m} \times (T_o - T_i)}{V \times I} \quad (1)$$

Table 8과 같이, 각 PTC 히터의 난방성능 결과를 비교하여 나타내었다. 디젤 차량에 적용되고 있는 기존 A타입의 PTC 히터는 약 1 kW급의 소비전력과 약 0.89의 효

율을 보이고 있으며, 시작품인 B타입의 PTC 히터는 약 1.1 kW급의 소비전력과 약 0.92 정도의 효율을 나타내고 있다. 이는 PTC 히터의 최적설계 및 제작이 적정하게 이루어져서 목표 성능에 부합하는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 공기측 압력강하는 A, B타입 각각 25.6, 27.5 kPa로서 적정 수준으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 동절기, 디젤 차량의 부족한 난방열원을 보충하기 위한 고효율 PTC 히터를 개발하였다. 이를 위해, PTC 소자 공정기술의 적용과 더불어 히터 설계/제작 및 난방 성능평가를 수행함으로써, PTC 히터의 특성을 파악하고 난방성능을 분석하였다. 얻어진 연구 결론은 다음과 같다.

- 1) PTC 소자는 전극생성 공정인 스크린 인쇄 방식을 활용하여 제작하였으며, 히터의 요구 난방용량 및 소비전력을 고려하여 상온에서 약 2~3 Ω의 저항 범위를 형성하였다.
- 2) PTC 소자 모듈의 설계를 위한 열유동 해석에서, Case 1에 비해 방열핀 접합 형상을 변경한 Case 2와 전열소자의 크기를 변경한 Case 3의 경우, 공기 온도 상승 변화가 각각 0.23°C, 0.09°C를 나타내었다. 이를 통해, 히터 구성품의 내부 열전달 면적보다 공기 측으로 전달되는 방열핀 형상 개선이 난방 성능에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.
- 3) A, B타입 PTC 히터의 난방용량은 0.895, 1.013 kW이었으며, 효율은 0.893, 0.924를 각각 나타내었다. 본 연구를 통해 설계·제작된 시작품 B타입은 디젤 차량에 적용되는 기존 A타입과 비교하여 동등 이상의 우수한 성능을 확보하였다.

PTC 소자를 포함하여 히터의 설계·제작공정을 통해 일련의 PTC 히터 개발 프로세스를 정립하였으며, 목표한 난방성능을 확보하였다. 이를 바탕으로 하여, PTC 소자의 내전압 및 내구성 향상을 위한 방안으로 박막전극 공정을 적용할 예정이며 더불어, 전기자동차 등 친환경 차량의 주난방 열원으로 고려되는 고전압 PTC 히터 개발을 진행할 것이다.

References

- [1] S. Kim, K. Cho and Y. Park, "A Study on Applying PTC Heater to Diesel Vehicle for Heating Performance Improvement", Spring Conference Proceedings of KSAE, pp. 1432-1437, 2002.
- [2] S. Kim and W. Na, "A Study on Applying Auxiliary Heater to Diesel Vehicle for Heating Performance Improvement", Spring Conference Proceedings of KSAE, pp. 488-492, 2004.
- [3] K. Kim, S. Kim and M. Kim, "Experimental Studies on the Heating Performance of the PTC Heater and Heat Pump Combined System in Fuel Cells and Electric Vehicles", International Journal of Automotive Technology, Vol. 13, No. 6, pp. 971-977, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12239-012-0099-z>
- [4] H. Park, B. Lee, Y. Chang and S. Lee, "Development of High Efficient Heating System using Waste Heat Source ", Annual Conference Proceedings of KSAE, pp. 1050-1055, 2012.
- [5] J. Gu, K. Oh, S. Jeong and Y. Wang, "A Study on Applying Hybrid PTC Heater to Vehicle for Heating Performance Improvement", Spring Conference Proceedings of KSAE, pp. 762-767, 2013.
- [6] S. M. Park, S. D. Kim, C. S. Jung, C. W. Lee, J. W. Kim and S. W. Jung, "Development of Intelligent-controlled High Voltage PTC for Eco-friendly EV", Spring Conference of KSME, pp. 144-147, 2011.
- [7] J. Cen, and D. Wang, "The Metallization of PTC Ceramic by Magnetron Sputtering", Physics Procedia, Vol. 32, pp. 482-486, 2012.. Kim, S. Kim and M. Kim, "Experimental".
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.589>

신 윤 혁(Shin, Yoon Hyuk)

[정회원]



- 2008년 8월 : 국민대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 2010년 8월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 연구원

<관심분야>

미래형 자동차, 공조(냉난방)시스템 및 열전달 응용

김 성 철(Kim, Sung Chul)

[정회원]



- 1999년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

미래형 자동차, 모터/인버터/배터리/연료전지 냉각, 공조(냉난방)시스템 및 열전달 응용